

УДК 621.974.8

Абдулганиев М.А.

МЕТОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ ПО ПЕРЕХОДАМ ШТАМПОВКИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНОЙ МАШИНЕ

Abdulganiev M.A.

METHOD OF POWER CALCULATION OF ENERGY EXPENSES ON THE TRANSITIONS OF STAMPING ON A HORIZONTAL-FORGING MACHINE

Предложены зависимости для аналитического расчета затрат энергии на рабочий ход горизонтально ковочных машин (ГКМ) двух переходной штамповки. Выполнен расчет энергетических параметров восьми машин с номинальным усилием 1,6...31,5 МН. Определены затраты энергии на трение при упругой разгрузке ГКМ, которые оказались в 2,8...3,5 раза больше энергии упругой деформации машины, предложено эти затраты включить в общий энергетический баланс рабочего хода.

Ключевые слова: горизонтально-ковочная машина, рабочий ход, энергия, упругая деформация, трение.

Введение

Расчет затрат энергии на рабочий ход горизонтально-ковочных машин (ГКМ) и других видов кривошипных прессов выполняется в настоящее время графоаналитическим методом на основе так называемого совмещенного графика, который построен накладыванием графиков технологических усилий отдельных переходов на один график, что приводит к заниженным результатам.

ГКМ является родоначальником кривошипных прессов для горячей объемной штамповки. На них выполняются такие операции как осадка, открытая и закрытая штамповка, просечка, резка, но по давней традиции за ними сохранилось название «ковочные», хотя операцииковки на них не выполняются. Благодаря возможностям производить поковки с удлиненной осью ГКМ получили широкое распространение.

Так, на Камском автозаводе [1] эксплуатируется 11 ГКМ фирмы «Газенклевер» (ФРГ) с горизонтальным разъемом матриц усилием 2,5-12,5 МН и 2 ГКМ Новокраматорского машиностроительного завода (Украина) с вертикальным разъемом матриц усилием 20 и 31,5 МН. Впервые энергетический расчет ГКМ графоаналитическим методом по совмещенному графику усилий деформации изложен в 1964г. в моно-

графией М.С. Несвита и О.И. Ньюнко. Через два года Е.Н. Ланской [3] и Л.И. Живов приводят графоаналитические методы расчета по современным графикам для кривошипных горячештамповочных прессов (КГШП) и других типов механических прессов. Этот же метод с незначительными уточнениями приведен в более поздних работах Е.Н. Ланского [5], [7] и Л.И. Живова [6]. Последнюю информацию о графоаналитическом методе энергетического расчета механических прессов находим в работе Л.И. Живова [8] изданной в качестве учебника для машиностроительных вузов Российской Федерации. Широкое распространение вычислительной техники позволяет отказаться от графоаналитического метода с присущими ему недостатками. В работе [9] изложен метод расчета затрат энергии на рабочий ход КГШП с использованием численного интегрирования. В работе [10] обоснована необходимость учета потери энергии на трение при упругой разгрузке КГШП, так как они в 3,5-4,0 раза превышают энергию упругой деформации пресса. В работе [11] изложен метод аналитического расчета затрат энергии на рабочий ход кривошипного пресса при холодном выдавливании.

Цель

Цель настоящей работы состоит в разработке метода аналитического расчета затрат энергии на рабочие хода ГKM, как суммы затрат энергии на переходы штамповки технологического цикла.

Методика исследования

Затраты энергии на рабочий ход каждого перехода штамповки определяются с учетом рекомендаций работы [10] по зависимости

$$A_{p.x.} = A_g + A_f + A_{fy}, \quad (1)$$

где A_g – работа пластической деформации;

A_f – потери энергии на трение при прямом ходе ползуна;

A_{fy} – потери энергии на трение при упругой разгрузке ГKM.

Работа пластической деформации определяется по аналитическим зависимостям теории прессов обработки металлов давлением или на основе графика технологических усилий, для первого перехода

$$A_{g1} = 0,5(P_{ок} + P_{оо})h_1, \quad (2)$$

для второго перехода $A_{g2} = 0,5(P_{ок} + P_{max})h_2$.

Потери энергии на трение при прямом ходе ползуна определяются как сумма потерь за два перехода штамповки. В любом случае, потери энергии на трение в кинематических парах главного исполнительного механизма определяются по зависимости

$$A_f = \int_{\alpha_H}^{\alpha_K} m_K^f P_\alpha d\alpha, \quad (3)$$

где α_H, α_K – угловые положения главного вала в начале и в конце рассматриваемого процесса: для первого перехода α_H и α_K определяются по положению ползуна соответствующего началу перемещения $S_H = S_1$, концу перемещения $S_K = 0$; (рис. 1).

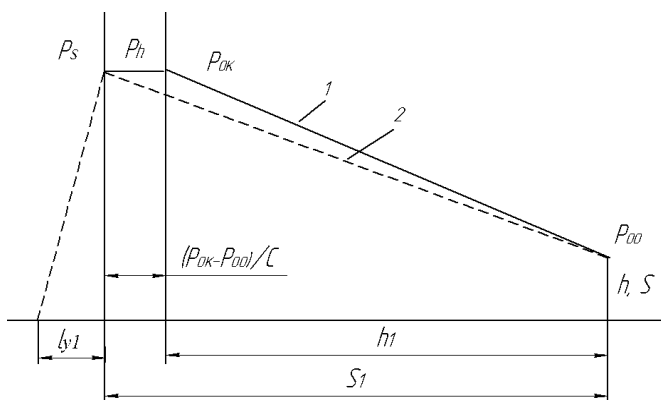


Рис. 1. График технологических усилий – 1 и нагрузочный график – 2 ГKM первого перехода

Для второго перехода потери энергии на трение определяются по двум участкам (рис. 2):

$$S_H = S_{2p}; S_K = S_2 \text{ и } S_H = S_2; S_K = 0;$$

P_α – усилие на ползуне в функции угла поворота главного вала определяется на основе нагрузочного графика ГKM, как

$$P_{\alpha} = P_H + \frac{P_K - P_H}{S_H - S_K} (S_H - S_{\alpha}), \quad (4)$$

где P_H, P_K – усилия соответствующие началу и концу рассматриваемого участка;

S_H, S_K – положение ползуна в начале и в конце рассматриваемого участка;

$S_H - S$ – линейная величина по нагрузочному графику между началом и концом рассматриваемого участка, по первому переходу $S = S_1$ (рис. 1) по второму переходу $S = S_{2p} - S_2$ (или $S = P_{OK} / C$, C – жесткость прессы), на втором участке $S = S_2$ (рис. 2);

S_{α} – перемещение ползуна ГKM в функции угла поворота главного вала согласно [3]:

$$S_{\alpha} = R \left[\left(1 + \frac{\lambda}{4} + \frac{K^2 \lambda^2}{2 + 2\lambda} \right) - \cos \alpha - \frac{\lambda}{4} \cos 2\alpha + K\lambda \sin \alpha \right], \quad (5)$$

где R – радиус кривошипа;

λ – коэффициент кратности шатуна;

K – степень дезаксиальности кривошипно-шатунного механизма.

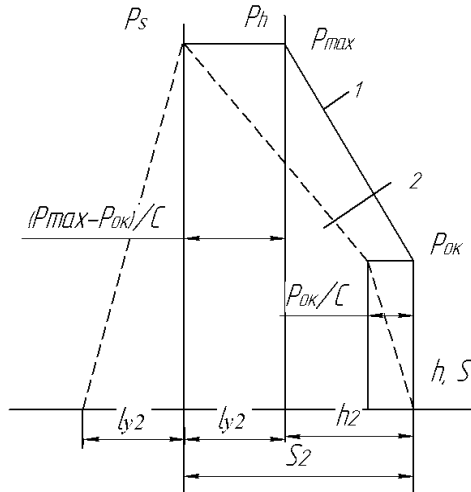


Рис. 2. График технологических усилий – 1 и нагрузочный график – 2

ГКМ второго перехода
После ввода обозначений

$$A = \frac{P_K - P_H}{S_H - S_K}, \quad B = 1 + \frac{\lambda}{4} + \frac{K^2 \lambda^2}{2 + 2\lambda}$$

и подстановки (5) в (4) затем (4) в (3) получим

$$A_f = m_f \int_{\alpha_H}^{\alpha_K} [P_H + AS_H - ARB - AR(\cos \alpha + \frac{\lambda}{4} \cos 2\alpha - K\lambda \sin \alpha)] d\alpha, \quad (6)$$

и после интегрирования (6) получим зависимость для расчета затрат энергии на преодоления сил трения при прямом ходе ползуна ГКМ в виде

$$A_f = m_f [(P_H + AS_H - ARB)(\alpha_H - \alpha_K) - AR(\sin \alpha_H - \sin \alpha_K + (\frac{\lambda}{4}(\sin \alpha_H - \sin \alpha_K) + K\lambda)(\cos \alpha_H + \cos \alpha_K))], \quad (7)$$

где α_H – угловое положение кривошипного вала соответствующее началу процесса;

α_K – угловое положение кривошипного вала соответствующее крайнему нижнему положению ползуна, для дезаксиальных механизмов достаточно точно $\alpha_K < 30^\circ$

$$\alpha_K = -K\lambda / (1 + \lambda). \quad (8)$$

Работа упругой деформации определялась по известной зависимости как

$$A_y = P^2 / (2C), \quad (9)$$

где C – жесткость ГКМ, принималась по рекомендациям Е.Н. Ланского [7].

Результаты исследований

Потери энергии на трение при упругой разгрузке ГКМ определялись по методике, изложенной в работе [8].

Исходные данные для расчета энергетических параметров рабочего хода ГКМ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные к расчету энергетических параметров

№	модель	P , МН	S , мм	$C \cdot 10^{-9}$, Н/м	m_f , мм	λ	B	$h1$, мм	$h1+h2$, мм
1	ВА1132	1,6	200	2,2	15	0,33	1,09	50	90
2	ВА1134	2,5	220	2,9	19	0,30	1,08	55	99
3	В1136	4,0	290	3,6	23	0,27	1,07	72,5	131
4	В1138	6,3	350	4,3	28	0,24	1,06	87,5	158
5	ВБ1139	8,0	380	4,9	31	0,21	1,05	95	171
6	ВВ1141	12,5	460	5,6	38	0,19	1,05	115	207
7	В143Б	20,0	570	6,3	47	0,17	1,05	142,5	257
8	В1145Б	31,5	700	7,0	58	0,14	1,05	175	315

Энергетические параметры 1-го и 2-го переходов рассчитывались при коэффициенте дезаксиала $K=0,5$ и приведенном коэффициенте трения $\mu = 0,06$. Исходные и промежуточные данные, а также результаты расчета 1-го перехода штамповки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета первого перехода штамповки

№	$P_{оо}$, МН	$P_{ок}$, МН	A , МН/м	h , мм	S_f , мм	α_n , град	A_{g1} , кДж	A_{f1} , кДж	A_{fj1} , кДж	η_1
1	0,08	0,56	5,3	90	91	76	28,8	8,54	0,34	0,77
2	0,125	0,88	7,6	99	100	78	49,5	17,09	0,74	0,74
3	0,2	1,4	9,2	131	132	79	104,4	33,05	1,40	0,76
4	0,315	2,2	11,9	158	159	79	198,45	63,44	2,88	0,76
5	0,4	2,8	14	171	173	80	273,6	89,62	4,04	0,75
6	0,625	4,4	18,2	207	209	85	517,5	172,97	8,31	0,75
7	1	7	23,3	257	260	87	1026	369,17	17,98	0,73
8	1,575	11	29,8	315	320	87	1984,5	649,30	35,97	0,75

Результаты расчета второго перехода штамповки приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета второго перехода штамповки

№	$P_{к}$, МН	$P_{н}$, МН	S , мм	α_n , град	$\alpha_{к}$, град	A_{g2} , кДж	$A_{г2}$, кДж	A_{fj2} , кДж	ΣA_f , кДж	η_2
1	1,6	0,56	51	44	-3,6	43,2	16,8	1,7	18,4	0,70
2	2,5	0,88	56	48	-3,3	74,3	35,0	3,5	38,5	0,66
3	4,0	1,4	74	50	-3,1	156,6	69,0	6,7	75,7	0,67
4	6,3	2,2	89	50	-2,8	297,6	132,4	13,8	146,2	0,79
5	8,0	2,8	97	50	-2,5	410,4	185,6	19,4	204,9	0,67
6	12,5	4,4	117	50	-2,3	776,3	353,8	40,0	393,8	0,66
7	20,0	7	146	50	-2,1	1539,0	712,6	87,0	799,6	0,66
8	31,5	11	180	51	-1,8	2976,8	1312,4	181,6	1494,0	0,67

Ввиду малой величины упругой деформации прессы до появления пластической деформации P_{OK} / C , которая не превышает 0,35% от величины пластической деформации, затраты энергии на трение определялись по величине хода ползуна равной S_{2p} по нагрузочному графику. Начальное значение усилия принималось равным $P_H = P_{OK}$, конечное же $P_K = P$.

$$S_H = S_H(\text{из табл.}) \cdot 0,2 + \Delta l$$

Таблица 4

Результаты энергетических затрат по двум переходам штамповки

№	ΣA_g , кДж	ΣA_f , кДж	η	A_{y1} , кДж	A_{f1}/A_{y1}	A_{y2} , кДж	A_{f2}/A_{y2}	$\Sigma A_f/\Sigma A_g$
1	72	25	0,73	0,07	4,9	0,6	2,8	0,35
2	124	52	0,69	0,12	6,2	1,1	3,2	0,42
3	261	102	0,70	0,25	5,6	2,2	3,0	0,39
4	751	196	0,70	0,52	5,5	4,6	3,0	0,26
5	684	275	0,70	0,73	5,5	6,5	3,0	0,40
6	1294	527	0,69	1,57	5,3	14,0	2,9	0,41
7	2565	1082	0,68	3,57	5,0	31,7	2,7	0,42
8	4961	1962	0,69	7,97	4,5	70,9	2,6	0,40

Результаты энергетических затрат рабочего хода при двухпереходной штамповке являются суммой результатов за два перехода. КПД рабочего хода двухпереходной штамповки определяется по сумме всех энергетических затрат. В табл. 3 также сведены отношения потерь энергии на трение при упругих разгрузках ГKM к сумме энергий упругих деформации по переходам штамповки. Результаты энергетических затрат по двум переходам штамповки приведены в табл. 4.

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшие потери энергии связаны с трением в кинематических парах главного исполнительного механизма. При упругой разгрузке ГKM потери энергии на трение в 4,5-6,2 раза превышают энергию упругой деформации на первом переходе штамповки и в 2,6-3,2 раза на втором переходе. Большее относительное значение потерь энергии на трение при разгрузке на первом переходе объясняется меньшим усилием и, как следствие, меньшим значением упругой деформации и угла разгрузки. Как известно, с уменьшением углового положения главного вала уменьшается кинематический КПД кривошипно-шатунного механизма. По этой же причине имеет место более высокое значение КПД рабочего хода на первом переходе штамповки (0,73-0,77) по сравнению со вторым переходом (0,66-0,7).

КПД рабочего ГKM, рассчитанный по суммарным затратам энергии за два перехода штамповки, находится на уровне 0,68-0,77. Он несколько превышает КПД рабочего хода кривошипных горячештамповочных прессов [8], что можно объяснить более высокими значениями углов начала рабочего хода (76° - 87° – ГKM, 45° - 50° – КГШП) при примерно одинаковых коэффициентах жесткости и коэффициентах кратности шатуна.

Выводы

1. Предложенные математические зависимости позволяют определять затраты энергии на рабочие хода ГKM по переходам штамповки, что позволяет более точно определять суммарные затраты энергии за технологический цикл.
2. Наибольшие потери энергии, связанные с приложением сил трения, повышение КПД возможно за счет улучшения условий трения в кинематических парах главного исполнительного механизма, обеспечив условия гидравлической смазки.
3. Потери энергии на трение при упругой разгрузке ГKM за два перехода штамповки в 2,8-3,5 раза превышают суммарную энергию упругой деформации, что позволяет сделать вывод о целесообразности их включения в баланс затрат энергии за рабочий ход.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семендий В.И. Прогрессивные технологии, оборудование и автоматизация кузнечно-штамповочного производства КамАЗа / В.И. Семендий, И.А. Акаро, Н.Н. Волосов // М.: Машиностроение, 1989.– 304 с.
2. Несвит С.М. Горизонтально-ковочные машины и их автоматизация / С.М. Несвит, О.И. Ньюнко // М.: Машиностроение, 1964. – 324 с.
3. Ланской Е.Н. Элементы расчета деталей и узлов кривошипных прессов / Е.Н. Ланской, А.Н. Банкетов // М.: Машиностроение, 1966. – 380 с.
4. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование. Прессы / Л.И. Живов, А.Г. Овчинников // Харьков. Изд-во при Харьков. Ун-те, 1966. – 456 с.
5. Банкетов А.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование / А.Н. Банкетов, Ю.А. Бочаров, Н.С. Добринский и др. Под ред. А.Н. Банкетова, Е.Н. Ланского // М.: Машиностроение, 1970. – 602 с.
6. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование. Прессы/ Л.И. Живов, А.Г. Овчинников – К.: Вища школа.– 1981. – 376 с.
7. Банкетов А.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование /А.Н. Банкетов, Ю.А. Бочаров, Н.С. Добринский. Под ред. Банкетов А.Н, Ланского Е.Н. // М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.
8. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для машиностроительных вузов / Л.И. Живов, А.Г. Овчинников, Е.Н. Складчиков. Под ред. Л.И. Живов // М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 560 с.
9. Рей М.Р. Энергетика рабочего хода кривошипного горячештамповочного пресса / М.Р. Рей // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб.наук.пр. – Луганськ, 2005. – С. 116–122.
10. Рей М.Р. Влияние жесткости кривошипного горячештамповочного пресса на потери энергии за рабочий ход / М.Р. Рей // Вісник СХУ ім. В. Даля, №6(100)

ч.1. Луганськ, 2006. – С. 40–54.

11. Рей М.Р. Энергетика рабочего хода кривошипного горячештамповочного пресса при холостом выдавливании / М.Р. Рей, В.И. Соколов, В.И. Дубина // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ, 2008. – С. 60–64.

12. Явтушенко О.В. Проектування та розрахунок кривошипних пресів. Навчальний посібник / О.В. Явтушенко. – Запоріжжя: вид-во ЗНТУ, 2008. – 301с.

13. Явтушенко О.В. Проектування та розрахунок кривошипних пресів. Курсове проектування. Навчальний посібник / О.В. Явтушенко. – Запоріжжя: вид-во ЗНТУ, 2012. – 448 с.

14. Рей М.Р. Затраты энергии на рабочий ход кривошипного горячештамповочного пресса / М.Р. Рей, Ю.И. Гутько, Т.С. Сушкова // Вісник СХУ ім. В. Даля, №4 (141) ч. 2, Луганськ, 2009. – С. 19–24.

REFERENCES

1. Semendy V.I. Progressive technologies, equipment and automation of kuzneno-forming production of KamAZ / V.I. Semendy, I.A. Akaro, N.N. Volosov / Moscow: Mashinostroenie, 1989. – 304 p.

2. Nesvit S.M. Horizontal forging machines and their automation / S.M. Nesvit, O.I. Nyunko. Moscow: Mashinosroyeniye, 1964. – 324 p.

3. Lansky E.N. Elementy of calculation of details and knots of krivoshipny press / E.N. Lansky, A.N. Banketov. Moscow: Mashinosroyeniye, 1966. – 380 p.

4. Zhivov L.I. Forge and forming equipment. Press / L.I. Zhivov, A.G. Ovchinnikov // Publishing house of Kharkov University, Kharkov, 1966. – 456 p.

5. Banketov A.N. Kuznechno-forming equipment / A.N. Banketov, Yu.A. Bocharov, H.C. Dobrinsky, etc. Under the editorship of A.N. Banketova, E.N. Lanskogo. Moscow: Mashinostroenie, 1970. – 602 p.

6. Zhivov L.I. Forge and forming equipment. Press / L.I. Zhivov, A.G. Ovchinnikov – Kiev: Vyscha shkola.– 1981. – 376 p.

7. Banketov A.N. Kuznechno-shtampovochnoye equipment / A.N. Banketov, Yu.A. Bocharov, H.C. Dobrinsky, E.N. Lansky.- Moscow: Mashinostroenie, 1982. – 576 p.

8. Zhivov L.I. Forge and forming equipment: the textbook for machine-building higher education institutions / L.I. Zhivov, A.G. Ovchinnikov, E.N. Skladchikov. Under the editorship of L.I. Zhivov / M.: Bauman Moscow State Technical University, 2006. – 560 p.

9. Ray M.R. Energetika of a working course of krivoshipny goryacheshtampovochny press / M.R. Ray // Resursozberігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Book of scientific papers. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Lugansk, 2005. pp. 116-122.

10. Ray M.R. Vliyaniye of rigidity of a krivoshipny goryacheshtampovochny press on energy losses for working course / M.R. Ray // Visnik SNU im. V.Dahl, No.6(100) p.1. Lugansk, 2006. - pp. 40-54.

11. Ray M.R. Energetika of a working course of a krivoshipny goryacheshtampovochny press at single expression / M.R. Ray, V.I. Sokolov, V.I. Dubina // Resursozberігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Book of scientific papers. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Lugansk, 2008. - pp. 60-64.

12. Yavtushenko O.V. Proyektuvannya ta rozrakhunok krivoshipny presses. Navchalny posibnik / O.V. Yavtushenko. – Zaporicsha: vyd - vo ZNTU, 2008. – 301 p.

13. Yavtushenko O.V. Proyektuvannya that rozrakhunok krivoshipny presiv. Kursov proyektuvannya. Navchalny posibnik / O.V. Yavtushenko. – Zaporichsha: vyd - vo ZNTU, 2012. – 448 p.

14. Ray M.R. Zatraty of energy on a working course of krivoshipny goryachesh-tampovochny press // M.R. Ray, Yu.I. Gutko, T.S. Sushkova // Visnik SNU im. V. Dahl, No. 4(141) ch. 2. Lugansk, 2009. - pp. 19-24.

Абдулганієв М.А. Метод енергетичного розрахунку витрат енергії на переходах штампуння на горизонтально-кувальній машині.

Запропоновані залежності для аналітичного розрахунку витрат енергії на робочий хід горизонтально кувальних машин (ГКМ) двох перехідного штампуння. Виконаний розрахунок енергетичних параметрів восьми машин з номінальним зусиллям 1,6...31,5 МН. Визначені втрати енергії на тертя при пружному розвантаженні ГКМ, які виявилися в 2,8...3,5 разів більше енергії пружної деформації машини, запропоновано ці витрати включити в загальний енергетичний баланс робочого ходу.

Ключові слова: горизонтально-кувальна машина, робочий хід, енергія, пружна деформація, тертя.

Abdulganiev M.A. Method of power calculation of energy expenses on the transitions of stamping on a horizontal-forging machine.

The purpose of this work is development a method for analytical calculation of energy losses during the working stroke of horizontal-forging machine, as the sum of energy losses for the transitions stamping on the technological cycle.

The mathematical dependences for determination the energy losses on the working stroke of the horizontal forging machines for two transitions stamping, which consist of plastic work, the energy losses on friction during the slide forward and elastic unloading of the machine. Energy losses on friction is determined by integrating the product of the reduced shoulder friction force on the effort on the slider on the expressions depending on the angle of rotation of the crank shaft.

The developed method of analytical calculation of energy losses of the working stroke of the horizontal forging machine can be more accurately and with less labor costs to perform calculations over graphic-analytical methods. It is shown that the energy losses on friction in the elastic unloading of horizontal forging machine in 2.8-3.5 times larger the energy of elastic deformation, it is proposed to consider them in the amount of energy consumption of the working stroke.

For the first time mathematical dependences are developed to determine the losses of energy on friction with the direct course of the slider and the elastic unloading of the machine with the offset mechanism crank mechanism, which is used as a main mechanism in the horizontal forging machines.

The method helps to reduce the complexity of engineering work and improves the accuracy of the calculation results compared to graphic-analytical methods which shows its usefulness.

Keywords: horizontal-forging machine, working stroke, energy, resilient deformation, friction.

Абдулганієв М.А. – аспірант Восточноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, г. Луганск, Україна.
e-mail: oomd@snu.edu.ua